



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 40 16 731 A 1

⑯ Int. Cl. 5:
G 01 J 3/45
G 01 N 21/27
// G01J 3/26

⑯ Aktenzeichen: P 40 16 731.3
⑯ Anmeldetag: 24. 5. 90
⑯ Offenlegungstag: 28. 11. 91

DE 40 16 731 A 1

⑯ Anmelder:
Bruker Analytische Meßtechnik GmbH, 7512
Rheinstetten, DE

⑯ Vertreter:
Kohler, R., Dipl.-Phys.; Rüdel, D., Dipl.-Ing.
Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anwälte, 7000 Stuttgart

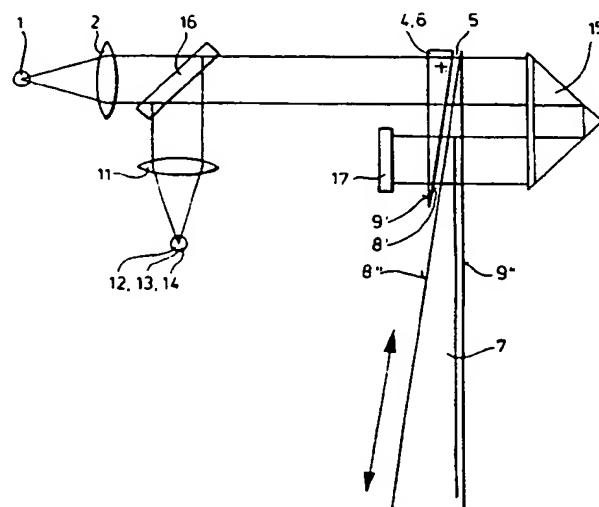
⑯ Erfinder:
Simon, Arno, Dr. Dipl.-Phys., 7500 Karlsruhe, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

DE 40 16 731 A 1

⑯ Fourierspektrometer

⑯ Ein Fourierspektrometer mit einem amplitudenteilenden Interferometer weist eine Polarisator-Einrichtung zum linearen Polarisieren eines in das Interferometer eintretenden parallelen Lichtstrahles, ein doppelbrechendes Verzögerungsglied, eine Keilanordnung aus doppelbrechendem Material, bestehend aus einem feststehenden und einem beweglichen Keil und einer Analysator-Einrichtung mit um gegenüber der Polarisator-Einrichtung um 90° gedrehter Durchlaßrichtung auf. In Ausbreitungsrichtung des Lichtstrahles nach der Keilanordnung ist ein Retroreflektor vorgesehen, der den Lichtstrahl durch die Keilanordnung und das Verzögerungsglied zurückwirft. Das Verzögerungsglied kann in der Keilanordnung integriert sein. Die Analysator-Einrichtung und die Polarisator-Einrichtung können durch einen polarisierenden Strahlteiler ersetzt werden. Schließlich kann mit Hilfe eines Endspiegels in Kombination mit dem Retroreflektor der Lichtstrahl insgesamt viermal durch die Keilanordnung und das Verzögerungsglied geworfen werden, so daß gegenüber einer linearen Anordnung ein vierfacher optischer Gangunterschied erzeugt wird.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Fourierspektrometer mit einem amplitudenteilenden Interferometer, das folgende Komponenten aufweist:

- eine Polarisator-Einrichtung zum linearen Polarisieren eines in das Interferometer eintretenden parallelen Lichtstrahles aus einer Lichtquelle;
- ein doppelbrechendes Verzögerungsglied zum Aufspalten des linear polarisierten Lichtstrahles in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl mit jeweils der gleichen Ausbreitungsrichtung wie der des linear polarisierten Lichtstrahles;
- eine Keilanordnung aus doppelbrechendem Material, bestehend aus zwei gegeneinander beweglichen Keilen, wobei die beiden Keile so angeordnet sind, daß ihre Hypotenusenflächen unmittelbar aneinander angrenzen, ihre langen Kathetenflächen planparallel sind und zur Ausbreitungsrichtung des Lichts im Interferometer senkrecht stehen, wobei mindestens einer der Keile parallel zu seiner Hypotenusenfläche derart verschiebbar ist, daß der gegenseitige Abstand der planparallelen Kathetenflächen variiert werden kann, und wobei die optischen Achsen zumindest eines Keiles gegenüber den optischen Achsen des Verzögerungsgliedes um 90° gedreht orientiert sind; und
- eine Analysator-Einrichtung mit um einen vorgegebenen Winkel α gegenüber der Polarisator-Einrichtung um die Richtung des die Keilanordnung verlassenden Lichtstrahles gedrehter Polarisierungsebene.

Ein solches Fourierspektrometer wird von der Firma Tecan AG in der Schweiz unter der Bezeichnung FT-NIR 4010 angeboten. Das Herzstück eines Fourierspektrometers ist ein amplitudenteilendes Interferometer, klassischerweise ein Michelson-Interferometer, bei dem ein paralleler Lichtstrahl aus einer Lichtquelle unter 45° auf einen semidurchlässigen Strahlteiler auftaucht, der den Strahl teilweise geradeaus durchläßt und teilweise im rechten Winkel reflektiert. Beide Teilstrahlen werden jeweils von einem senkrecht in ihrem Strahlengang befindlichen Planspiegel auf den Strahlteiler zurückreflektiert. Einer der beiden Spiegel ist stationär, während der andere auf der optischen Achse des betreffenden Teilstrahles verschoben werden kann, so daß die optische Weglänge, die das Licht dieses Teilstrahles zwischen dem Strahlteiler und dem Spiegel zurücklegt, variiert werden kann. Die im Strahlteiler wieder zusammenlaufenden Teilstrahlen interferieren miteinander und ergeben einen in Abhängigkeit von der Position des beweglichen Spiegels amplitudenmodulierten Lichtstrahl, der das Interferometer senkrecht zur Richtung des von der Lichtquelle einlaufenden Lichtstrahles verläßt und entweder direkt einem Detektor zugeführt wird, oder vorher noch eine in den Strahlengang eingebrachte Probe durchläuft. Aus dem Detektorsignal wird mit Hilfe eines Rechners die Fouriertransformierte des Interferogramms gebildet, die ein komplettes optisches Spektrum von Quelle, Instrument (Interferometer) und ggf. Probe darstellt.

Ein großer Nachteil des Michelson-Interferometers ist die erforderliche Führungsgenauigkeit des bewegten Interferometerspiegels. Bei einem Interferometer der Firma Analect in Irvine/Kalifornien, das unter der Bezeichnung "Transect" angeboten wird, kann eine bedeu-

tend größere Führungsgenauigkeit in Kauf genommen werden, indem als Strahlteiler eine Anordnung von einem beweglichen und einem festen Keil aus transparentem Material verwendet wird. Durch Verschieben des Keiles wird die optische Weglänge, die der Teilstrahl im "beweglichen" Arm des zweiarmigen Interferometers zurücklegt, variiert. Dadurch, daß das Licht durch Materie mit hohem Brechungsindex geführt wird, werden optische Weglängenunterschiede in den beiden Armen des Interferometers erzeugt.

Die zweiarmige Interferometeranordnung hat jedoch immer noch den Nachteil, daß unterschiedliche thermische Änderungen, z. B. Ausdehnungen der optischen Elemente auf den beiden Armen zu einer gravierenden Dejustierung des Interferometers während der Messung führen können. Dieser Nachteil tritt bei der eingangs erwähnten, von der Firma Tecan AG angebotenen Anordnung nach dem Oberbegriff nicht auf, da diese Anordnung keinen zweiten Arm aufweist, der gegenüber einem ersten Arm kompensiert werden muß, sondern die beiden Teilstrahlen an der gleichen Stelle die optischen Elemente des Interferometers passieren, und daher ein Unterschied zwischen zwei räumlich getrennten Teilstrahlen gar nicht auftreten kann.

Die Änderung der optischen Gangunterschiede bei dieser Anordnung sind jedoch immer noch aufgrund der maximal möglichen Differenzen in den Brechungswinkeln der Materialien der beiden Keile recht begrenzt, was auch das Auflösungsvermögen des Spektrometers limitiert. Außerdem müssen bei diesem Aufbau hohe Anforderungen an die Planparallelität der gegenüberliegenden langen Kathetenflächen der beiden Keile gestellt werden, und auch Winkelfehler, sowie Abweichungen der Strahlrichtung von der Richtung senkrecht zu diesen Kathetenflächen, z. B. durch eine endliche Divergenz des Strahles oder aufgrund einer etwas schiefen Justage der Strahlachse, führen zu erheblichen Störungen im Interferenzmuster. Ebenso wirken sich Fehler bei der Bewegung des beweglichen Keils längs der Hypotenusenflächen negativ aus.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Fourierspektrometer der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, daß die Anforderungen an die Winkelgenauigkeit der optischen Komponenten, insbesondere der Keilanordnung, ohne Einbuße an Auflösungsvermögen oder Meßgenauigkeit wesentlich verringert werden können, daß sich dynamische Fehler bei der Bewegung des beweglichen Keiles weniger störend auswirken und daß der optische Gangunterschied der beiden Teilstrahlen im Interferometer und damit das Auflösungsvermögen des Fourierspektrometers vergrößert wird.

Diese Aufgabe wird erfahrungsgemäß dadurch gelöst, daß in Ausbreitungsrichtung des erstmals durch die Keilanordnung tretenden Lichtstrahles gesehen nach der Keilanordnung ein Retroreflektor vorgesehen ist.

Dadurch, daß der Lichtstrahl vom Retroreflektor zurückgeworfen wird, durchläuft er die Keilanordnung mindestens zweimal, was eine doppelte optische Weglängendifferenz und damit ein verdoppeltes optisches Auflösungsvermögen des Fourierspektrometers zur Folge hat. Kleine Winkelabweichungen des Strahlenganges im Keil kompensieren sich von selbst, da sie beim Rücklauf des retroreflektierten Strahles durch den Keil in umgekehrter Richtung auftreten und daher im Ergebnis aufgehoben werden. Aus dem gleichen Grund kompensieren sich auch dynamische Fehler bei der Bewegung des beweglichen Keiles. Insgesamt können bei

der erfindungsgemäßen Anordnung die Anforderungen an die Winkelgenauigkeit der optischen Komponenten um ca. eine Zehnerpotenz reduziert werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß das Spektrometer in seiner Längsausdehnung nur noch halb so groß ist wie der Aufbau nach dem bekannten Stand der Technik.

Aus der Druckschrift "Journal of Scientific Instruments", Vol. 37, August 1960, Seiten 278 bis 281 ist zwar ebenfalls eine Anordnung bekannt, bei der ein durch eine Keilanordnung geführter Strahl in sich zurückreflektiert und nochmals durch die Keilanordnung geführt wird. Bei diesem Gerät handelt es sich allerdings nicht um ein Spektrometer, sondern lediglich um eine Modifikation eines Babinet-Kompensators, bei dem durch Verschiebung der Keile lediglich optische Gangunterschiede von monochromatischem Licht in der Größenordnung einer oder zweier Wellenlängen erzeugt werden, wobei sich die Probe zwischen Polarisator und Analysator befindet, während bei einem Spektrometer Gangunterschiede von mehreren tausend Wellenlängen erzeugt werden müssen. In den Strahlengang eines solchen Kompensators werden optische Bauteile zur Untersuchung ihres doppelbrechenden Verhaltens sowie zur optischen Kontrolle der Bauteile auf Ungenauigkeiten eingebracht. Eine Spektralanalyse mit einer solchen Anordnung ist nicht möglich.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fourierspektrometers beträgt der Winkel α , um den die Analysator-Einrichtung gegenüber der Polarisator-Einrichtung verdreht ist, 90° . Die Justage der Anordnung erfolgt dann auf ein Minimum des durchtretenden Lichtes, was die größte Justage-Genauigkeit erlaubt.

Bei einer anderen Ausführungsform besteht die Keilanordnung aus einem feststehenden und einem beweglichen Keil. Durch den feststehenden Keil wird das Justieren gegenüber der Anordnung mit zwei beweglichen Keilen wesentlich erleichtert.

Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Fourierspektrometers ist das Verzögerungsglied in der Keilanordnung, insbesondere in dem feststehenden Keil integriert, wodurch die Anzahl der Komponenten im Interferometer und damit die Anzahl der Fehlermöglichkeiten reduziert und das Spektrometer insgesamt kompakter wird.

Bei einer weiteren Ausführungsform werden der Polarisator und der Analysator von einem polarisierenden Strahlteiler gebildet, wobei der Retroreflektor derart angeordnet ist, daß der die Keilanordnung letztmalig verlassende Lichtstrahl koaxial und entgegengerichtet zum erstmalig in die Keilanordnung eintretenden Lichtstrahl verläuft, auf die Rückseite des polarisierenden Strahlteilers auftrifft und schließlich der Proben-Detektor-Anordnung des Fourierspektrometers zugeführt wird. Bei dieser Ausführungsform wird die Anzahl der linearpolarisierenden optischen Instrumente von zwei auf eins reduziert, so daß die Fehlermöglichkeiten bei den einzelnen Komponenten noch weiter abnehmen und der Aufbau insgesamt noch kompakter wird.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung dieser Ausführungsform ist der Retroreflektor derart angeordnet, daß der den Retroreflektor erstmals verlassende Lichtstrahl gegenüber dem in den Retroreflektor erstmals eintretenden Lichtstrahl parallelversetzt ist, und daß in Ausbreitungsrichtung des den Retroreflektor erstmals verlassenden Lichtstrahles gesehen nach der Keilanordnung ein Spiegel angeordnet ist, der den Lichtstrahl in

sich reflektiert. Dadurch wird erreicht, daß der Lichtstrahl insgesamt viermal die Keilanordnung passiert, was gegenüber der Anordnung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 zu einem vierfach höheren Gangunterschied und damit einem viermal höheren Auflösungsvermögen führt.

Der Retroreflektor kann bei Ausführungsformen der Erfindung eine Würfelecke (corner cube) sein, er kann aber auch aus einer Katzenaugenanordnung bestehen, die entweder einen Planspiegel und einen Hohlspiegel oder aber einen Planspiegel und eine Sammellinse enthält. Wesentlich ist, daß der Strahl mit Punktsymmetrie zurückgeworfen wird.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist eine Lichtfaseranordnung vorgesehen, die den aus dem Interferometer austretenden Lichtstrahl einer außerhalb des Fourierspektrometers angeordneten Probe und den aus der Probe wieder austretenden Lichtstrahl der Detektoreinrichtung des Fourierspektrometers zuführt. Dadurch kann die Probe räumlich weit außerhalb des Fourierspektrometers angeordnet sein, so daß beim Probenwechsel kein direkter mechanischer Kontakt mit dem Spektrometer zustande kommt, was die Gefahr einer unbeabsichtigten Dejustage des Spektrometers weiter minimiert und die Möglichkeit eröffnet, eine Spektralanalyse auch an Orten vorzunehmen, an denen ein Fourierspektrometer aus räumlichen oder sonstigen Gründen nicht aufgebaut werden kann.

Das erfindungsgemäße Fourierspektrometer kann in allen optischen Wellenlängenbereichen betrieben werden, in denen die verwendeten Materialien transparent und doppelbrechend sind, insbesondere jedoch mit einer Lichtquelle, die breitbandiges Licht im nahen Infrarot emittiert. Damit können besonders Vibrations- und Rotationsspektren von Flüssigkeitsmolekülen aufgenommen werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert. Die der Zeichnung und der Beschreibung zu entnehmenden Merkmale können bei anderen Ausführungsformen der Erfindung einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination Anwendung finden. Es zeigen:

Fig. 1 Schema eines Spektrometers nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1:

Fig. 2 Schema eines erfindungsgemäßen Spektrometers:

Fig. 3 Schema eines erfindungsgemäßen Spektrometers mit in der Keilanordnung integriertem Verzögerungsglied:

Fig. 4 Schema eines erfindungsgemäßen Spektrometers mit in der Keilanordnung integriertem Verzögerungsglied und polarisierendem Strahlteiler:

Fig. 5 Schema eines erfindungsgemäßen Spektrometers mit in der Keilanordnung integriertem Verzögerungsglied, polarisierendem Strahlteiler und einer Spiegel-Retroreflektor-Anordnung, die ein viermaliges Durchlaufen des Lichtstrahles durch die Keilanordnung ermöglicht:

Fig. 6a Schema einer Katzenaugenanordnung mit Planspiegel und Hohlspiegel;

Fig. 6b Schema einer Katzenaugenanordnung mit Planspiegel und Sammellinse und

Fig. 7 Schema einer Anordnung zur Lichtleitung in die und aus der Probe.

Das Fourierspektrometer in Fig. 1 gehört zum Stand der Technik und wird, wie eingangs erwähnt, von der Schweizer Firma TECAN AG angeboten. Licht aus einer

in der Regel breitbandigen Lichtquelle 1 wird in einer hier als Linse dargestellten ersten Kollimatoranordnung 2 zu einem parallelen Lichtstrahl formiert, der ein Interferometer durchläuft. Das Interferometer besteht aus einer Polarisator-Einrichtung 3, einem Verzögerungsglied 4, einer Keilanordnung 5 aus doppelbrechendem Material, bestehend aus einem feststehenden Keil 6 und einem beweglichen Keil 7, wobei die beiden Keile so angeordnet sind, daß ihre Hypotenusenflächen 8', 8'' unmittelbar aneinander angrenzen, ihre langen Kathetenflächen 9', 9'' planparallel sind und zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes im Interferometer senkrecht stehen, wobei der bewegliche Keil parallel zu seiner Hypotenusenfläche 8'' derart verschiebbar ist, daß der gegenseitige Abstand der planparallelen Kathetenflächen 9', 9'' variiert werden kann, sowie aus einer Analysator-Einrichtung 10. Der aus der ersten Kollimatoranordnung 2 in das Interferometer eintretende Lichtstrahl wird in der Polarisator-Einrichtung 3 linear polarisiert. Wenn die Winkelstellung der Durchlaßrichtung der Polarisator-Einrichtung 3 in einer Ebene senkrecht zur Achse des parallelen Lichtstrahles zu 45° definiert wird, dann ist das nachfolgende Verzögerungsglied 4, das in der Regel aus einer doppelbrechenden planparallelen Platte besteht, mit seinen optischen Achsen bezüglich der Polarisator-Einrichtung 3 so orientiert, daß der senkrecht durch das Verzögerungsglied 4 hindurchtretende parallele Lichtstrahl in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl mit jeweils der gleichen Ausbreitungsrichtung aufgespalten wird, d. h. in zwei linearpolarisierte Anteile, deren Schwingungsebenen die Winkelstellung 0° bzw. 90° in der Ebene senkrecht zur Strahlachse einnehmen. Da die beiden Strahlkomponenten im Verzögerungsglied 4 unterschiedliche Lichtgeschwindigkeiten besitzen, verläßt der parallele Lichtstrahl das Verzögerungsglied 4 nicht unbedingt linear polarisiert, sondern in der Regel elliptisch oder möglicherweise auch zirkular polarisiert. Der Lichtstrahl tritt in die Keilanordnung 5 ein, wobei er die planparallelen, langen Kathetenflächen 9', 9'' des feststehenden Keiles 6 bzw. des größeren beweglichen Keiles 7 senkrecht durchsetzt. Die optischen Achsen der Keilanordnung 5 sind gegenüber den optischen Achsen des Verzögerungsgliedes 4 um 90° um die Achse des Lichtstrahles gedreht orientiert. Durch Verschieben des beweglichen Keiles 7 längs seiner Hypotenusenfläche 8'' kann daher die optische Dicke der Keilanordnung 5 derart variiert werden, daß sie der optischen Dicke des Verzögerungsgliedes 4 gleich wird, und folglich die Wirkung der Aufspaltung des zunächst linear polarisierten Strahles in zwei senkrecht zueinander polarisierte Komponenten mit unterschiedlichen Laufzeiten wieder aufhebt. In dieser speziellen Stellung verläßt die Keilanordnung 5 ein unter 45° linear polarisierter paralleler Lichtstrahl, der nun in eine Analysator-Einrichtung 10 eintritt, deren Durchlaßrichtung die Winkelposition -45° bezüglich einer Ebene senkrecht zur Achse des Lichtstrahles einnimmt, so daß in diesem Falle der Lichtstrahl in der Analysator-Einrichtung 10 ausgelöscht wird. Durch Verschieben des beweglichen Keiles 7 kann aber die optische Dicke der Keilanordnung 5 relativ zur optischen Dicke des Verzögerungsgliedes 4 beliebig verändert werden, so daß der die Keilanordnung 5 verlassende parallele Lichtstrahl in der Regel nicht in einer Winkelstellung von 45° linear polarisiert sein wird, und daher zumindest ein Teil des Lichtstrahles die Analysator-Einrichtung 10 verlassen und in eine zweite Kollimatoranordnung 11 eintreten kann, wo der Lichtstrahl auf eine Probe 12 und anschlie-

ßend von einer Linse 13 auf einen Detektor 14 fokussiert wird. Dort werden die Lichtsignale des Interferogrammes aufgenommen und an einen Rechner zur Fouriertransformation weitergeleitet.

Die oben beschriebene bekannte Interferometeranordnung ist zwar mechanisch kompakter und auch störungsunempfindlicher als das klassische Michelson-Interferometer, jedoch müssen hohe Genauigkeitsanforderungen an die Planparallelität der langen Kathetenflächen 9', 9'' der Keilanordnung 5 gestellt werden. Außerdem ist der maximal mögliche Gangunterschied zwischen den Teilstrahlen begrenzt durch die Differenz der Brechungssindizes der Keilmaterialien. Diese beiden Nachteile können bei dem erfindungsgemäßen Fourierspektrometer vermieden werden, bei welchem in Ausbreitungsrichtung des erstmals durch die Keilanordnung 5 tretenden Lichtstrahles gesehen nach der Keilanordnung ein Retroreflektor 15, wie z. B. in Fig. 2 gezeigt, vorgesehen ist. Durch die mindestens zweimalige Hindurchführung des Lichtstrahles durch die Verzögerungsplatte 4 und die Keilanordnung 5 ergibt sich die doppelte optische Weglängendifferenz wie bei der linearen Anordnung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, und somit das doppelte Auflösungsvermögen des Interferometers. Kleine Winkelabweichungen des Lichtstrahles beim Durchgang durch das Verzögerungsglied 4 und die Keilanordnung 5 kompensieren sich, da sie beim zweiten Durchlaufen des entsprechenden optischen Elementes jeweils in umgekehrter Richtung auftreten und daher im Ergebnis aufgehoben werden. Das gleiche gilt für Winkelfehler, die aufgrund von Abweichungen in der Linearität der Bewegung des beweglichen Keiles 7 längs der Hypotenusenflächen 8', 8'' auftreten. Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung besteht darin, daß sie gegenüber der linearen Anordnung nur halb so lang ist.

Der Keil 6 muß nicht unbedingt feststehend angeordnet sein, sondern kann auch gegenüber dem Keil 7 beweglich vorgesehen sein. Die bevorzugte relative Winkelstellung α der Analysator-Einrichtung 10 bezüglich der Polarisator-Einrichtung 3 beträgt 90° , da eine optische Justage auf ein Minimum des durch die Anordnung hindurchtretenden Lichtes am einfachsten und genauesten zu bewerkstelligen ist. Der Relativwinkel α kann aber auch 0° betragen, so daß die durchgelassene Lichtmenge maximal wird, oder auch einen beliebigen, fest vorgebbaren Zwischenwert annehmen, wenn dadurch die Lichtausbeute im Detektor 14 vergrößert werden soll.

Noch kompakter ist die in Fig. 3 gezeigte Ausführungsform, bei der das Verzögerungsglied 4 in der Keilanordnung 5, insbesondere in dem feststehenden Keil 6, integriert ist. Die Orientierung der optischen Achsen des feststehenden Keiles 6 muß bei dieser Anordnung um 90° um die Achse des Lichtstrahles verdreht gegenüber der Orientierung der optischen Achsen des beweglichen Keiles 7 sein.

Eine weitere Einsparung an optischen Komponenten und an Platzbedarf des Spektrometers ermöglicht die Ausführungsform nach Fig. 4, wo die Polarisator-Einrichtung 3 und die Analysator-Einrichtung 10 durch einen einzigen polarisierenden Strahlteiler 16 ersetzt ist. Der Retroreflektor 15 ist bei dieser Ausführungsform derart angeordnet, daß der die Keilanordnung 5 abschließend verlassende Lichtstrahl koaxial und entgegengesetzt zum in die Keilanordnung 5 eintretenden Lichtstrahl verläuft, also in sich reflektiert wird. Dadurch können auch die lateralen Dimensionen des Inter-

ferometeraufbaus verkürzt werden.

Fig. 5 zeigt eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung, bei der der Lichtstrahl zunächst durch die Keilanordnung 5 mit integriertem Verzögerungsglied 4 in den Retroreflektor 15 eintritt, von da durch die Keilanordnung 5 auf einen Spiegel 17 geworfen wird, der den Strahl in sich reflektiert und durch die Keilanordnung 5 auf den Retroreflektor 15 zurückwirft, der ihn parallelversetzt abermals durch die Keilanordnung 5 auf den polarisierenden Strahlteiler 16 wirft. Auf diese Weise wird die Keilanordnung 5 mit dem integrierten Verzögerungsglied 4 insgesamt viermal vom Lichtstrahl durchlaufen, was gegenüber der linearen Anordnung nach Fig. 1 einen vierfach erhöhten optischen Gangunterschied und damit ein vierfach höheres Auflösungsvermögen des Interferometers ergibt.

Der Retroreflektor 15 kann bei Ausführungsformen der Erfindung eine Würfellecke (corner cube) sein. Er kann aber auch aus einer Katzenaugenanordnung bestehen, die, wie in Fig. 6a gezeigt, einen Hohlspiegel 19 enthält, der den Lichtstrahl auf einen Planspiegel 18 wirft, welcher den Strahl seinerseits auf den Hohlspiegel 19 reflektiert, wo er antiparallel zu seiner Ursprungsrichtung zurückgeworfen wird, oder die, wie in Fig. 6b gezeigt, aus einer Sammellinse 20 und aus einem Planspiegel 18 bestehen kann.

Die Probe 12 kann wie in Fig. 1 gezeigt, linear zwischen der zweiten Kollimatoranordnung 11 und einer Linse 13 angeordnet sein, die das Licht aus der Probe in einen Detektor 14 fokussiert. Eine andere Möglichkeit der Proben-Detektor-Anordnung ist in Fig. 7 gezeigt, wo das aus der zweiten Kollimatoranordnung 11 austretende Licht aus dem Interferometer mit Hilfe einer Lichtfaseranordnung 21 in die Probe 12 gelenkt und von da wiederum mit der Lichtfaseranordnung 21 über eine Linse 13 in den Detektor 14 fokussiert wird. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß die Probe räumlich weit außerhalb des Fourierspektrometers angeordnet sein kann.

40

Patentansprüche

1. Fourierspektrometer mit einem amplitudenteilenden Interferometer, das folgende Komponenten aufweist:

- eine Polarisator-Einrichtung (3) zum linearen Polarisieren eines in das Interferometer eintretenden parallelen Lichtstrahles aus einer Lichtquelle (1);
- ein doppelbrechendes Verzögerungsglied (4) zum Aufspalten des linear polarisierten Lichtstrahles in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl mit jeweils der gleichen Ausbreitungsrichtung wie der des linear polarisierten Lichtstrahles;
- eine Keilanordnung (5) aus doppelbrechendem Material, bestehend aus zwei gegeneinander beweglichen Keilen (6, 7), wobei die beiden Keile (6, 7) so angeordnet sind, daß ihre Hypotenusenflächen (8', 8'') unmittelbar aneinander angrenzen, ihre langen Kathetenflächen (9', 9'') planparallel sind und zur Ausbreitungsrichtung des Lichts im Interferometer senkrecht stehen, wobei mindestens einer der Keile (6, 7) parallel zu seiner Hypotenusenfläche (8'') derart verschiebbar ist, daß der gegen-

seitige Abstand der planparallelen Kathetenflächen (9', 9'') variiert werden kann, und wobei die optischen Achsen zumindest eines beweglichen Keiles (6, 7) gegenüber den optischen Achsen des Verzögerungsgliedes (4) um 90° gedreht orientiert sind; und

— eine Analysator-Einrichtung (10) mit um einen vorgegebenen Winkel α gegenüber der Polarisator-Einrichtung (3) um die Richtung des die Keilanordnung (5) verlassenden Lichtstrahles gedrehter Polarisationsebene,

dadurch gekennzeichnet, daß in Ausbreitungsrichtung des erstmals durch die Keilanordnung (5) tregenden Lichtstrahles gesehen nach der Keilanordnung (5) ein Retroreflektor (15) vorgesehen ist.

2. Fourierspektrometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel α 90° beträgt.

3. Fourierspektrometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Keilanordnung (5) aus einem feststehenden Keil (6) und einem beweglichen Keil (7) besteht.

4. Fourierspektrometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Verzögerungsglied (4) in der Keilanordnung (5) integriert ist.

5. Fourierspektrometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Polarisator-Einrichtung (3) und die Analysator-Einrichtung (10) von einem polarisierenden Strahlteiler (16) gebildet werden, und der Retroreflektor (15) derart angeordnet ist, daß der die Keilanordnung (5) letztmalig verlassende Lichtstrahl koaxial und entgegengerichtet zum erstmals in die Keilanordnung (5) eintretenden Lichtstrahl verläuft.

6. Fourierspektrometer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Retroreflektor (15) derart angeordnet ist, daß der den Retroreflektor (15) erstmals verlassende Lichtstrahl gegenüber dem in den Retroreflektor (15) erstmals eintretenden Lichtstrahl parallel versetzt ist, und daß in Ausbreitungsrichtung des den Retroreflektor (15) erstmals verlassenden Lichtstrahles gesehen nach der Keilanordnung (5) ein Spiegel (17) angeordnet ist, der den Lichtstrahl in sich reflektiert.

7. Fourierspektrometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Retroreflektor (15) eine Würfellecke (corner cube) ist.

8. Fourierspektrometer nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Retroreflektor (15) eine Katzenaugenanordnung, bestehend aus einem Planspiegel (18) und einem Hohlspiegel (19), ist.

9. Fourierspektrometer nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Retroreflektor (15) eine Katzenaugenanordnung, bestehend aus einem Planspiegel (18) und einer Sammellinse (20), ist.

10. Fourierspektrometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Lichtfaseranordnung (21) vorgesehen ist, die den aus dem Interferometer austretenden Lichtstrahl einer außerhalb des Fourierspektrometers angeordneten Probe (12) und den aus der Probe (12) austretenden Lichtstrahl einer Detektoreinrichtung (14) des Fourierspektrometers zuführt.

11. Fourierspektrometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

die Lichtquelle (1) breitbandiges Licht im nahen
Infrarot emittiert.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

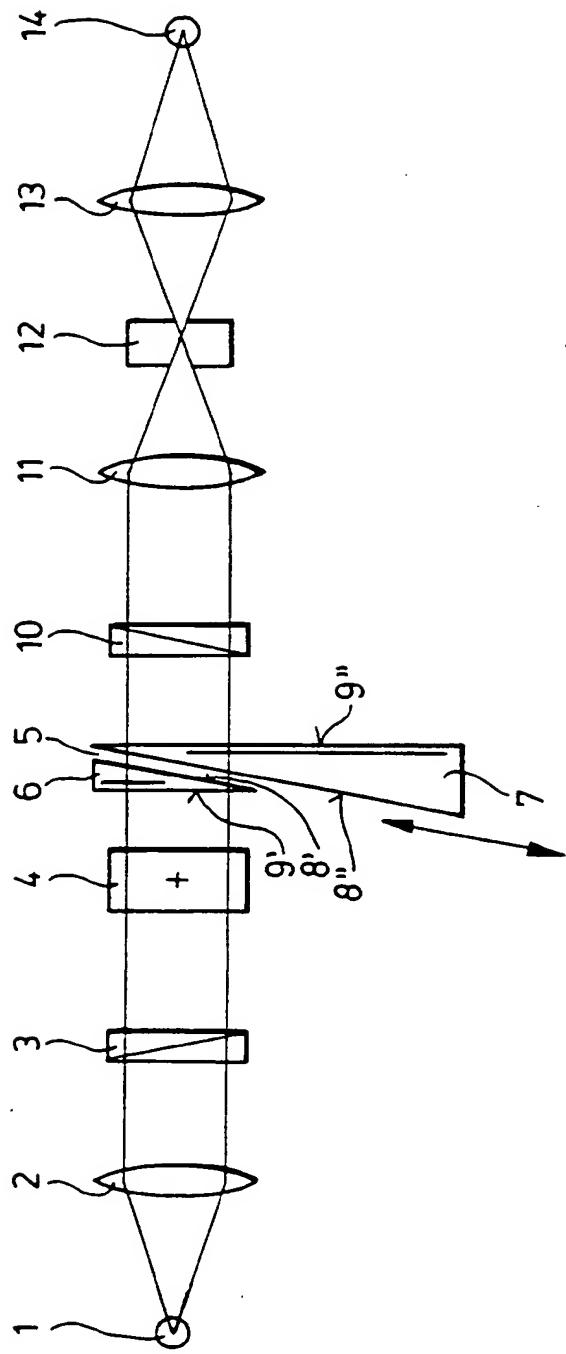


Fig. 1

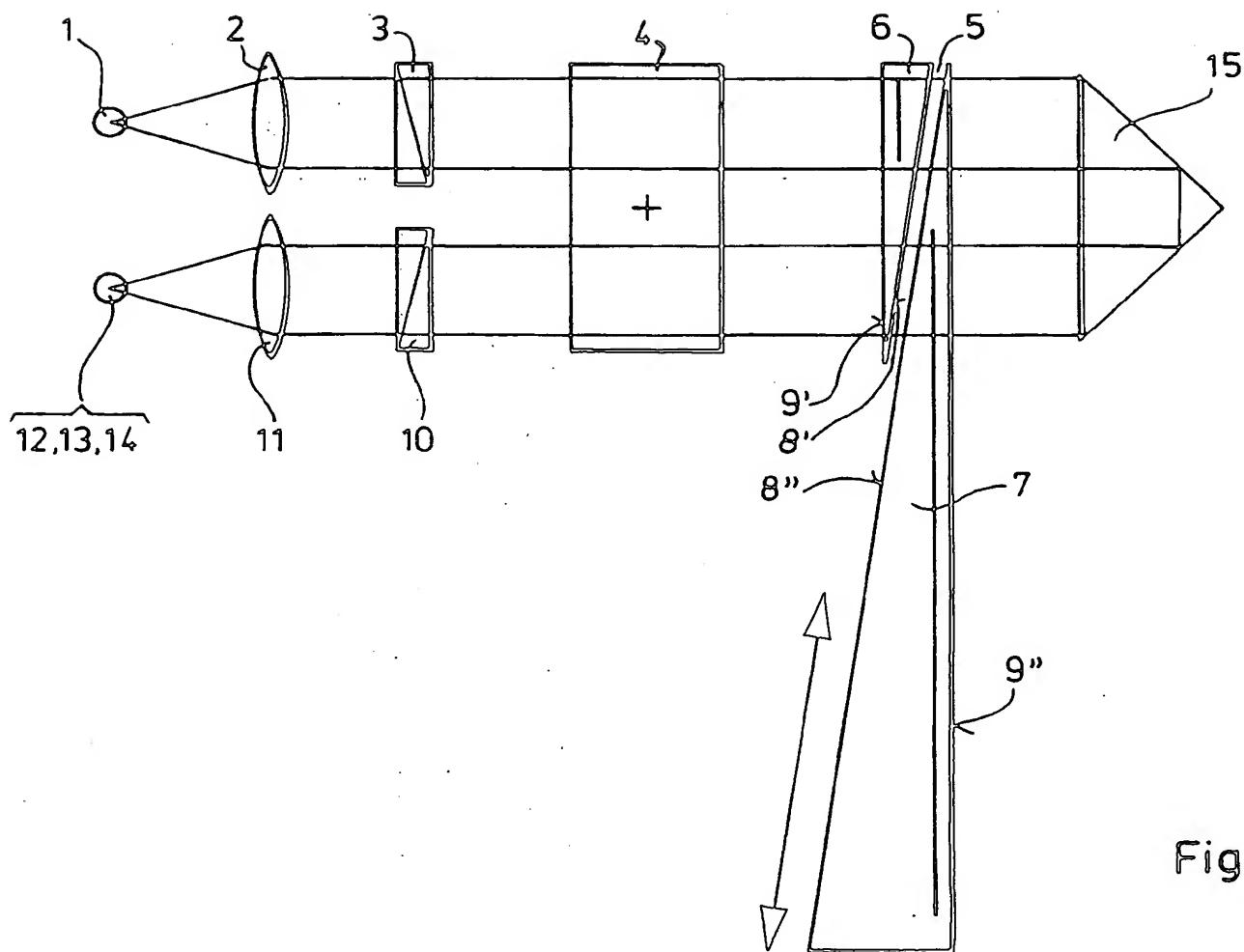


Fig. 2

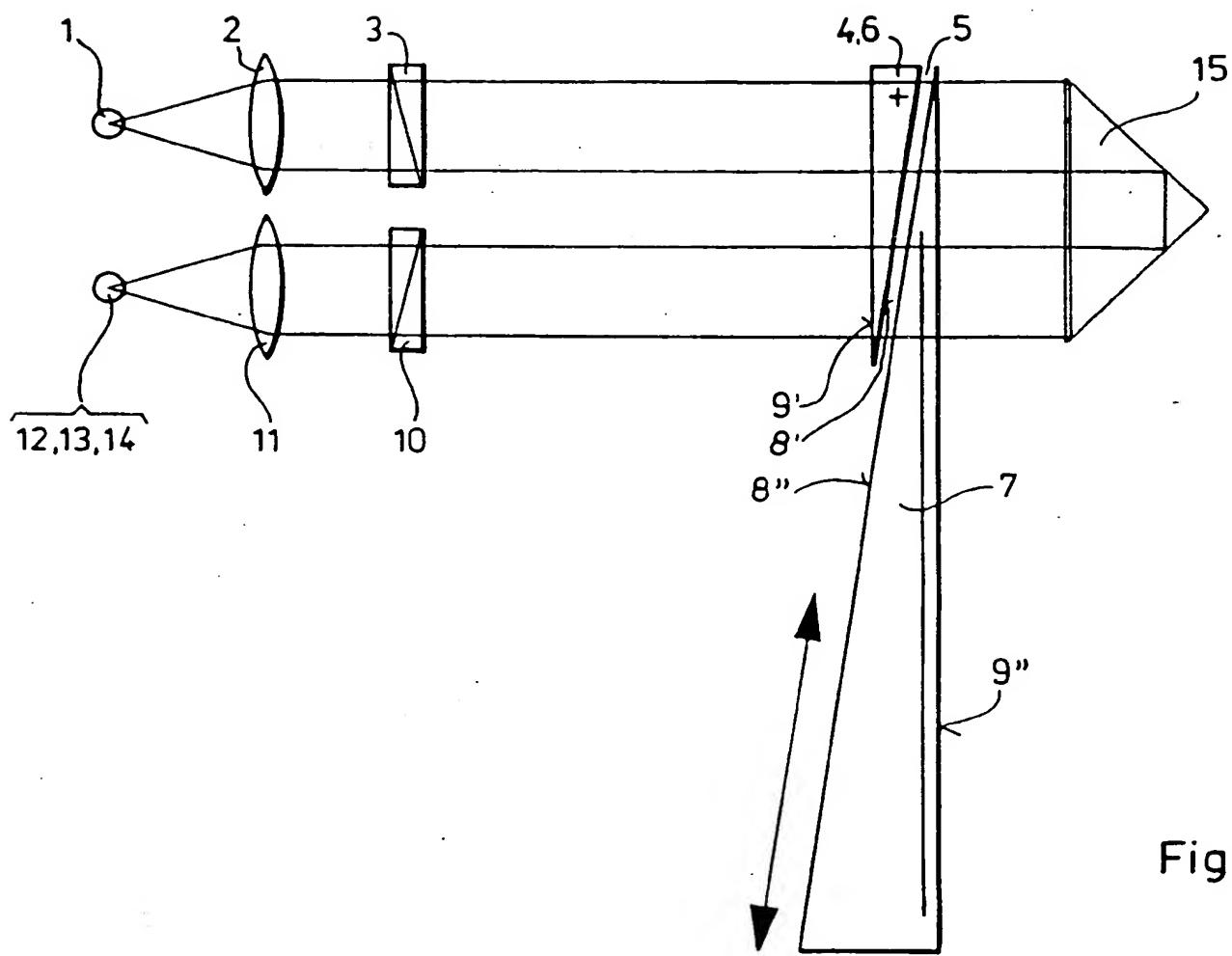


Fig. 3

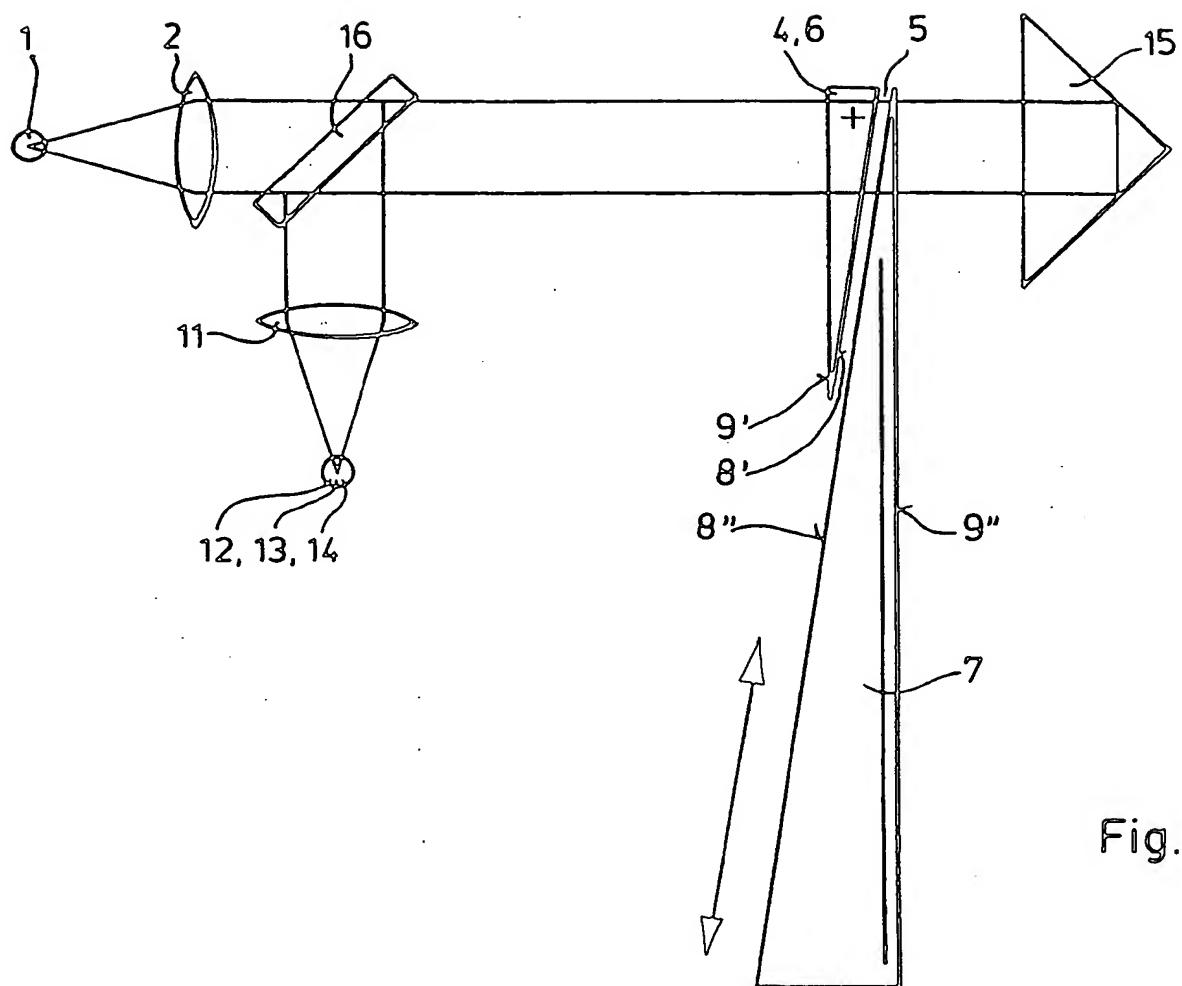


Fig. 4

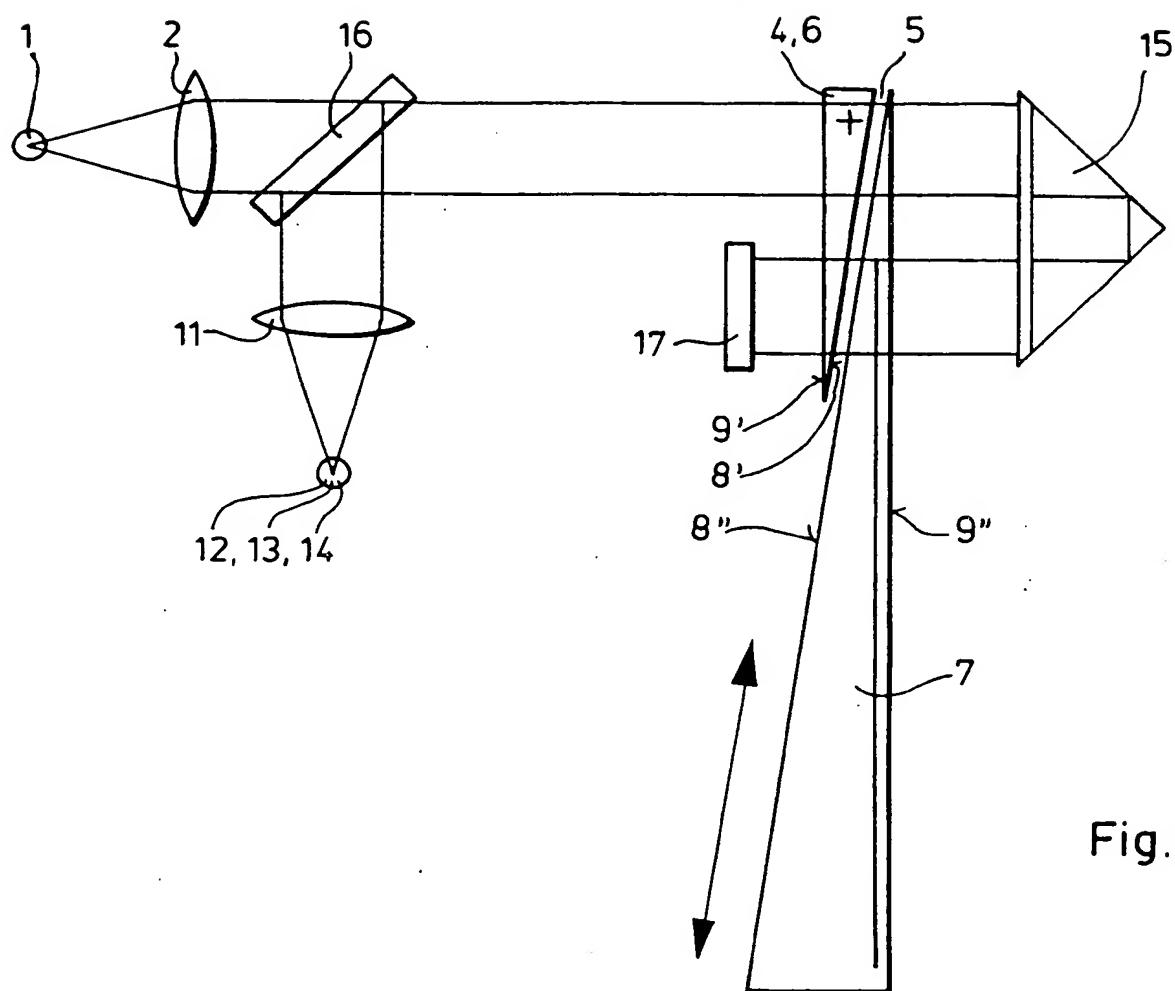


Fig. 5

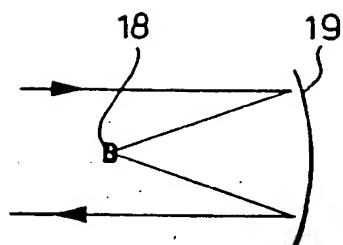


Fig. 6a

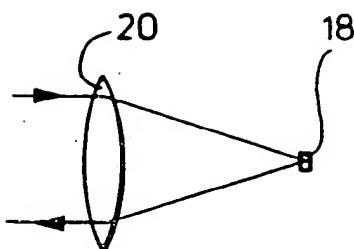


Fig. 6b

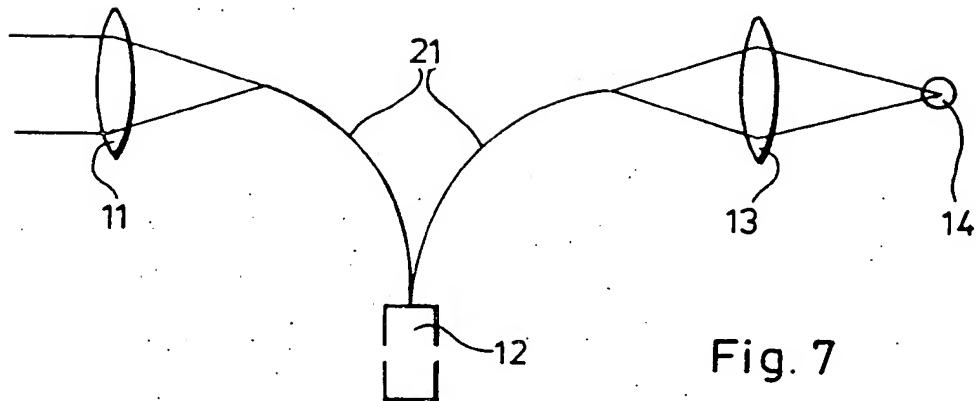


Fig. 7